



**XVII CONGRESSO
NACIONAL DE GEOTECNIA**

A Geo, as ciências e a tecnologia

**X CONGRESSO
LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA**

Segurança de obras geotécnicas

LISBOA 2021

Título

XVII CONGRESSO
NACIONAL DE GEOTECNIA
A Geo, as ciências e a tecnologia

X CONGRESSO
LUSO-BRASILEIRO DE GEOTECNIA
Segurança de obras geotécnicas

Autores

Vários

Data

Novembro 2021

Pré-impressão

Digicreate Serviços Gráficos Unipessoal, Lda

ISBN

978-989-54038-7-5

VIABILIDADE DO USO DE UM AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) NO PREENCHIMENTO DE VALAS

FEASIBILITY OF USE OF A RECYCLED AGGREGATE RESULTING FROM CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE (C&DW) IN BACKFILL OF TRENCHES

Pereira, Paulo Miguel, *CONSTRUCT-Geo, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, paulo.miguel.pereira@fe.up.pt*

Vieira, Castorina Silva, *CONSTRUCT-Geo, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, cvieira@fe.up.pt*

Lopes, Maria de Lurdes, *CONSTRUCT-Geo, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, lcosta@fe.up.pt*

RESUMO

A minimização do consumo de recursos naturais não renováveis para a produção de materiais de construção é considerada como um dos fatores essenciais para atingir a sustentabilidade no setor. A valorização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como material granular é uma forma eficiente de alcançar este propósito. Adotar e implementar este princípio é particularmente relevante para um tipo de indústria que consome mais matérias-primas que qualquer outra atividade económica e dá origem a cerca de 11,4 milhões de toneladas de RCD em Portugal. A utilização de agregados reciclados de RCD em obras geotécnicas apresenta-se como uma alternativa interessante do ponto de vista económico e ambiental.

A nível nacional, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) promoveu juntamente com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) a publicação de um conjunto de especificações técnicas para a utilização de materiais provenientes de RCD. O uso de RCD no preenchimento de valas é regido pela especificação do LNEC E 485, em cumprimento do disposto no Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 junho.

O presente artigo apresenta os resultados laboratoriais da caracterização de um agregado reciclado grosso (propriedades geométricas, físicas, mecânicas e ambientais) para determinar se este cumpre os requisitos mínimos estabelecidos na especificação do LNEC E 485, possibilitando a sua utilização no preenchimento de valas.

ABSTRACT

Minimizing the consumption of non-renewable natural resources for the production of construction materials is considered one of the key aspects to achieve sustainability in the construction sector. The recovery of Construction and Demolition Waste (C&DW) as aggregate is an efficient way to achieve this purpose. Adopting and implementing this principle is particularly relevant for a type of industry that consumes more raw materials than any other economic activity and produces about 11.4 million tonnes of C&DW in Portugal. The use of recycled C&DW aggregates in geotechnical works presents itself as an interesting alternative from an economic and environmental point of view.

Recently, the Portuguese Environment Agency (APA) promoted, in collaboration with the Portuguese National Laboratory of Civil Engineering (LNEC), the release of new technical specifications for the use of materials resulting from C&DW. The use of

C&DW as trenches backfilling is conducted by the Portuguese specification LNEC E 485.

In this study, a laboratory programme was carried out to evaluate a series of physical, mechanical and chemical properties of a coarse recycled aggregate. The suitability of these materials as alternative aggregates for backfill of trenches was then assessed, taking into account the requirements set out in LNEC E 485.

1. INTRODUÇÃO

A capacidade da natureza para absorver e transformar os resíduos gerados pela atividade humana é limitada. O modelo de desenvolvimento sustentável, entendido como a satisfação das necessidades do presente sem sacrificar as das gerações futuras, torna essencial uma eficaz gestão dos resíduos.

A redução da exploração de recursos naturais não renováveis tem sido uma das constantes preocupações associadas à preservação do meio ambiente. O consumo significativo de recursos naturais, cerca de 13 ton/ano per capita na União Europeia (UE) (Eurostat, 2021a), torna necessário que se promovam mudanças significativas nos padrões de consumo. É por isso fundamental que se promovam estudos e aplicações envolvendo materiais alternativos.

Em 2018, o total de resíduos gerados na UE ascendeu a 2338 milhões de toneladas (Eurostat, 2021b). A indústria da construção (839 milhões de toneladas, 35,9 % do total) e a indústria da exploração de minérios (621 milhões de toneladas, 26,6 % do total) são os principais setores económicos que geraram mais resíduos em 2018 (Figura 1). Do total de resíduos gerados por esses dois setores, 96,6 % eram resíduos minerais ou solos (terra escavada, resíduos de construção e demolição, resíduos de pedreiras,...). A percentagem de resíduos minerais em relação ao total de resíduos produzidos na UE foi de 65,2 % (Eurostat, 2021b).

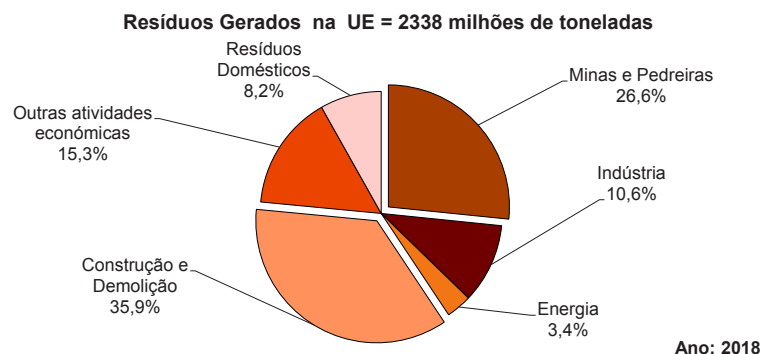


Figura 1 – Distribuição dos resíduos gerados em 2018 por consumidores domésticos e atividades económicas na União Europeia (UE) (Eurostat, 2021b)

A definição de resíduo é “qualquer substância ou objeto, de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer” (Decreto-Lei n.º 178/2006, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011) [Diário da República, 2006 e 2011]. No entanto, a visão de que os resíduos são apenas substâncias e objetos que urgem serem eliminados, encontra-se ultrapassada. Um exemplo paradigmático desta evolução é o conceito de Gestão Integrada dos Resíduos, que combina fluxos de resíduos, métodos de recolha, tratamento e eliminação, com o objetivo de alcançar a minimização dos impactos ambientais, a otimização económica e aceitabilidade social.

Em alguns países, a eliminação da maioria dos seus resíduos resume-se à sua incineração e deposição em aterros. A crescente escassez de locais adequados para aterros, o aumento dos custos envolvidos nestas operações, a consciência ambiental de alguns intervenientes no processo, tem originado o desenvolvimento de soluções alternativas que passam pela redução, reutilização e reciclagem dos resíduos.

O Decreto-Lei n.º 178/2006 (Diário da República, 2006) define Resíduo de Construção e Demolição como “o resíduo proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações”. Atualmente, os RCD dispõem de um quadro legislativo específico, publicado no Decreto-Lei n.º 46/2008 (Diário da República, 2008), a 12 de março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011 (Diário da República, 2011), de 17 junho, o qual estabelece o regime das operações de gestão de RCD, compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação.

A reciclagem dos RCD, por um lado, reduz o consumo de recursos naturais (não renováveis), e por outro lado, evita a deposição em aterro de materiais inertes. Apesar das vantagens da reciclagem dos RCD, Portugal tem uma taxa de reciclagem de cerca de 5 % (European Commission, 2021) que está abaixo da média da UE (46 %) (European Commission, 2021), e abaixo do mínimo de 70 % estipulado pela Diretiva-Quadro “Resíduos” (União Europeia, 2008) a ser alcançado em 2020. Adotar e implementar este princípio é particularmente relevante para um tipo de indústria que consome mais matérias-primas que qualquer outra atividade económica e dá origem a cerca de 11,4 milhões de toneladas de RCD em Portugal (Vieira e Pereira, 2015).

Nos últimos anos, vários estudos foram conduzidos para avaliar a viabilidade do uso de agregados reciclados de RCD em obras geotécnicas, como melhoria de solos (Henzinger e Heyer, 2018), estruturas reforçadas com geossintéticos (Santos et al., 2013; Santos et al., 2014; Vieira e Pereira, 2016; Vieira et al., 2016), pavimentos rodoviários (Arulrajah et al., 2013; Freire et al., 2019) e valas destinadas à instalação de tubagens (Rahman et al., 2014; Vieira et al., 2017). A maioria destes estudos revelou resultados encorajadores, mostrando que os agregados reciclados de RCD podem exibir propriedades equivalentes ou superiores às dos materiais granulares.

Recentemente, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), em colaboração com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), desenvolveu especificações técnicas visando a utilização de materiais reciclados provenientes de RCD em diferentes obras de engenharia civil, incluindo o preenchimento de valas. Neste estudo, foi realizado a caracterização geométrica, física, mecânica e química de um agregado reciclado de RCD para determinar se este cumpre os requisitos mínimos estabelecidos na especificação do LNEC E 485 (2016), possibilitando a sua utilização no preenchimento de valas.

2. CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL DO AGREGADO RECICLADO

2.1. Classificação dos constituintes do agregado reciclado

No estudo experimental que se apresenta foi utilizado um agregado reciclado de RCD (Figura 2) proveniente de um operador licenciado na zona Centro de Portugal e obtido

a partir de RCD produzidos naquela zona do país e entregues nas instalações da unidade.



Figura 2 – Aspeto visual do RCD estudado (régua em centímetros)

Os constituintes deste agregado reciclado grosso proveniente de RCD, determinados de acordo com a norma NP EN 933-11 (2011), apresentam-se no Quadro 1. Tal como se pode constatar pelo Quadro 1, o RCD reciclado é constituído principalmente por partículas de agregados não ligados e de betão e argamassa (Figura 3).

Quadro 1 - Classificação dos constituintes do agregado reciclado de RCD (NP EN 933-11: 2011)

Constituintes	
Betão, produtos de betão e argamassa, R_c [% (m/m)]	43,2
Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos, R_u [% (m/m)]	53,4
Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante, R_b [% (m/m)]	2,0
Materiais betuminosos, R_a [% (m/m)]	≈ 0
Vidro, R_q [% (m/m)]	≈ 0
Solos, R_s [% (m/m)]	1,4
Outros: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos), madeira não flutuante e estuque, X [% (m/m)]	≈ 0
Volume de material flutuante, FL (cm^3/kg)	0,1



Figura 3 – Separação de alguns constituintes do RCD após a triagem manual: (a) agregados não ligados (R_u); (b) partículas de betão e argamassa (R_c); (c) elementos cerâmicos de alvenaria (R_b)

2.2. Propriedades geométricas, físicas e mecânicas

A análise granulométrica do RCD foi realizada pelo método de peneiração, tendo sido utilizada, como referência, a norma Portuguesa NP EN 933-1 (2014). Sendo os RCD materiais com uma composição muito heterogénea, foram lavadas três amostras, secas e peneiradas, de forma a avaliar a variabilidade dos resultados obtidos. A Figura 4 ilustra as curvas granulométricas obtidas para as 3 amostras, bem como a respetiva curva média. Pela análise da Figura 4 observa-se que a curva granulométrica do RCD reciclado é extensa e contínua.

Os intervalos de valores da dimensão máxima das partículas (D_{max}), do percentil 50 da distribuição granulométrica (D_{50}) e do teor em finos são apresentados no Quadro 2.

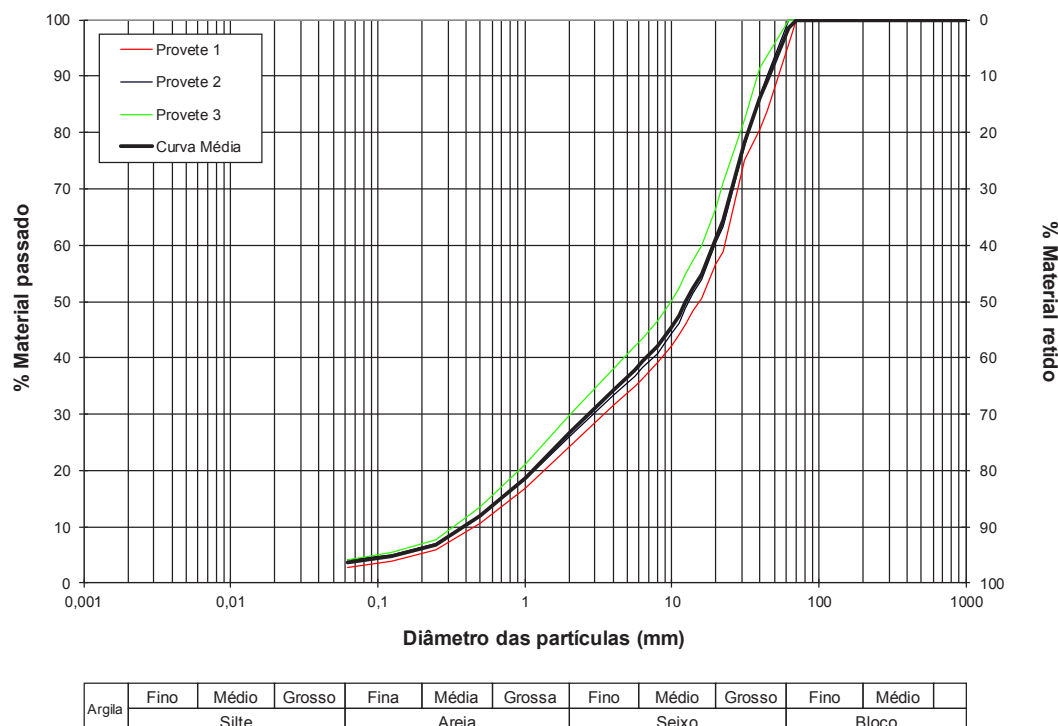


Figura 4 – Curvas granulométricas do RCD utilizado no estudo experimental

A caracterização geométrica envolveu também a quantificação dos Índices de achatamento (FI) e de forma (SI), segundo as normas NP EN 933-3 (2014) e EN 933-4 (2008), respetivamente. A qualidade dos finos foi avaliada através do ensaio do equivalente de areia (NP EN 933-8: 2012) e do ensaio do azul de metileno (NP EN 933-9: 2009), utilizando a fração granulométrica 0/2 mm do RCD reciclado. O ensaio do equivalente de areia permite avaliar a quantidade de matéria muito fina associada a materiais mais grosseiros. O valor do azul de metileno (MB), define, de forma eficaz, a existência de materiais sensíveis à água no agregado (argilas). Conforme os resultados apresentados no Quadro 2, obteve-se um valor de equivalente de areia, SE(10), de 47,4 % e um valor de MB de 0,7 g de corante/kg da fração 0/2 mm. Sendo o valor de SE(10) > 30 pode-se concluir que os finos presentes no RCD reciclado são materiais não plásticos. Concordante com esta conclusão está também o baixo valor de MB devido ao baixo teor de finos plásticos (argilas) presentes no RCD reciclado.

O comportamento mecânico do agregado reciclado proveniente de RCD foi avaliado através da resistência à fragmentação (coeficiente de Los Angeles) e da resistência ao esmagamento, seguindo as recomendações da NP EN 1097-2 (2011) e NP 1039 (1974), respetivamente. A determinação da massa volúmica e da absorção de água do RCD reciclado foi feita de acordo com a norma NP EN 1097-6 (2016), usando diferentes frações do agregado reciclado (Quadro 3). Os valores da massa volúmica obtidos para o RCD reciclado são coerentes com os resultados normalmente obtidos para agregados naturais. Em relação à absorção de água, os valores para o agregado reciclado são geralmente mais altos do que os valores dos agregados naturais, o que pode estar associado à porosidade relativamente alta de alguns dos constituintes do RCD, como os produtos de alvenarias e as argamassas.

Quadro 2 – Resultados dos ensaios das propriedades geométricas, físicas e mecânicas

Parâmetros	RCD
Dimensão máxima das partículas, D_{max} (mm)	40,0 – 63,0
Percentil 50 da distribuição granulométrica, D_{50} (mm)	9,9 – 15,4
Teor de finos ($\leq 0,063$ mm) (%)	2,8 – 4,1
Índice de Achatamento, FI (%)	9
Índice de Forma, SI (%)	9
Equivalente de areia, SE(10) (%)	47,4
Valor de azul de metileno, MB (g/kg)	0,7 (0,2)*
Coeficiente de Los Angeles, LA (%)	36
Resistência ao esmagamento (%)	37,8

* O valor entre parêntesis é o valor de MB multiplicado pela percentagem que passa no peneiro de 2 mm

Quadro 3 - Resultados dos ensaios de massas volúmicas e absorção de água do RCD reciclado

Parâmetros		Fração (mm)	RCD reciclado			
			Provete 1	Provete 2	Provete 3	Média*
Massa volúmica (Mg/m³)	Material impermeável das partículas	31,5 / 63,0	2,516	2,508	2,505	2,510 (0,2 %)
	Partículas secas		2,261	2,238	2,271	2,257 (0,7 %)
	Partículas saturadas com superfície seca		2,362	2,346	2,364	2,357 (0,4 %)
	Material impermeável das partículas	4,0 / 31,5	2,614	2,630	2,626	2,623 (0,3 %)
	Partículas Secas		2,391	2,413	2,408	2,404 (0,5 %)
	Partículas saturadas com superfície seca		2,476	2,495	2,491	2,487 (0,4 %)
	Material impermeável das partículas	0,063 / 4,0	2,630	2,607	2,621	2,619 (0,4 %)
	Partículas Secas		2,380	2,346	2,351	2,359 (0,8 %)
	Partículas saturadas com superfície seca		2,475	2,446	2,454	2,458 (0,6 %)
		31,5 / 63,0	4,47	4,81	4,12	4,47 (7,7 %)
	Absorção de água (%)	4,0 / 31,5	3,56	3,41	3,45	3,47 (2,2 %)
		0,063 / 4,0	3,99	4,26	4,38	4,21 (4,7 %)

* O valor entre parêntesis é o coeficiente de variação

2.3. Propriedades químicas

A determinação dos sulfatos solúveis em água foi realizada seguindo a norma NP EN 1744-1 (2009), que regula vários outros procedimentos de análise química de agregados. O teor de sulfatos solúveis em água, obtido por pesagem e expresso em percentagem de iões de sulfato por massa de material analisado, foi de 0,052 %. O desempenho ambiental do agregado reciclado proveniente de RCD, no que respeita à possibilidade de contaminação das águas superficiais e subterrâneas por libertação de substâncias perigosas foi analisado recorrendo a ensaios de lixiviação. Os resultados do ensaio de lixiviação, conduzidos de acordo com a norma EN 12457-4 (2002), foram muito inferiores aos valores limites para resíduos admissíveis em aterros de resíduos inertes, definidos no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto.

3. VIABILIDADE DO USO DO AGREGADO RECICLADO NO PREENCHIMENTO DE VALAS

3.1. Requisitos da especificação LNEC E 485

A especificação LNEC E 485 (2016) define três classes (MR) de materiais reciclados provenientes de RCD, com base no conhecimento da proporção relativa de cada um dos constituintes (Quadro 4). O significado dos parâmetros R_x , F_L e X presentes no Quadro 4 estão especificados no Quadro 1. A mesma especificação também define diferentes categorias de materiais dependendo da posição do material na vala (Figura 5). As propriedades e os requisitos mínimos, que cada classe de RCD precisa respeitar para ser integrada em cada uma das categorias são apresentadas no Quadro 5.



Figura 5 – Representação das categorias de materiais na vala (adaptado de Vieira et al. (2017))

Quadro 4 - Classificação dos materiais provenientes de RCD (adaptado de LNEC E 485, 2016)

Classe	Proporção dos constituintes					
	$R_c+R_u+R_q$ (%)	R_q (%)	R_a (%)	R_b+R_s (%)	F_L (cm ³ /kg)	X (%)
MR1	≥ 70	≤ 25	≤ 30	≤ 30	≤ 5	≤ 1
MR2	Sem limite	≤ 25	Sem limite	Sem limite	≤ 5	≤ 1
MR3	Sem limite	≤ 5	≤ 10	Sem limite	≤ 5	≤ 1

3.2. Avaliação e discussão

Para se avaliar a viabilidade do uso do agregado reciclado de RCD no preenchimento de valas, procedeu-se a uma comparação entre as propriedades do material estudado (Secção 2) e os requisitos estabelecidos na especificação LNEC E 485 (2016) (Secção 3). A partir da comparação entre as proporções relativas dos constituintes (Quadro 1) e os limites estabelecidos no Quadro 4, torna-se evidente que o agregado reciclado de RCD estudado pode ser incluído em qualquer uma das três classes estabelecidas (MR1, MR2 e MR3), ou seja pode-lhe ser atribuída a classe mais alta, MR1.

Analisando as propriedades do RCD reciclado descritas nas secções 2.2 e 2.3 e os requisitos mínimos apresentados no Quadro 5, o material estudado pode ser incluído nas categorias PSA2 e PIA, o que significa que este pode ser considerado adequado para preencher a camada inferior do aterro (sob pavimentos de infraestruturas de transporte, passeios e espaços verdes) e a camada superior, exceto se a vala estiver localizada sob pavimentos de infraestruturas de transporte. É importante notar, que se não fosse pelo valor elevado da dimensão máxima, D_{max} , o agregado reciclado poderia ser aceite nas categorias CE e LA, independentemente do diâmetro nominal do tubo. Assim sendo, o RCD reciclado só poderá ser utilizado no preenchimento da camada envolvente e do leito de assentamento (sob pavimentos de infraestruturas de

transporte, passeios e espaços verdes) se o diâmetro do tubo utilizado na vala for igual ou superior a 600 mm.

Quadro 5 - Propriedades e requisitos mínimos dos materiais provenientes de RCD para preenchimento de valas (adaptado de LNEC E 485: 2016)

Requisitos de conformidade			Categoria		
Parâmetros	Propriedade	Norma de ensaio	CE/LA MR3	PSA2/PIA MR1, MR2 e MR3	PSA1 MR1
Geométricos e de natureza	Dimensão máxima das partículas (D_{max})	NP EN 933-1	≤ 20 mm, se $DN^{\#} \leq 200$ ≤ 40 mm, se $200 \leq DN \leq 600$ ≤ 63 mm, se $DN > 600$	≤ 180 mm	≤ 80 mm
	Teor de finos ($\leq 0,063$ mm)	NP EN 933-1	≤ 12 %	-	≤ 12 %
	Qualidade dos finos ($MB_{0/D}$)*	NP EN 933-9	-	-	$\leq 2,0$
Comportamento mecânico	Resistência à fragmentação (LA)	NP EN 1097-2	-	-	≤ 45
	Resistência ao desgaste (MDE)	NP EN 1097-1	-	-	≤ 45
Químicos	Teor de sulfatos solúveis em água (SS)	NP EN 1744-1	$\leq 0,7$ %	$\leq 0,7$ %	$\leq 0,7$ %
	Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Classificação como resíduo para deposição em aterro para resíduos inertes		

* $MB_{0/D}$ é o valor de azul de metileno (MB) expresso em g/kg multiplicado pela percentagem da fração passada no peneiro de 2 mm

Diâmetro nominal do tubo (mm)

Relativamente à utilização deste agregado reciclado na camada superior do aterro sob pavimentos de infraestruturas de transporte (categoria PSA1), embora não tenha sido possível determinar a resistência ao desgaste (MDE) por questões laboratoriais, tudo leva a crer que tal aplicação também será viável, estando os restantes requisitos mínimos cumpridos. O RCD reciclado não levantou qualquer preocupação em termos das suas propriedades químicas (teor de sulfatos solúveis em água e libertação de substâncias perigosas).

4. CONCLUSÕES

Neste artigo apresentou-se a caracterização laboratorial de um RCD reciclado e a avaliação da sua adequação para o preenchimento de valas, com base nos pressupostos da especificação do LNEC E 485 (2016).

Verificou-se que o agregado reciclado proveniente de RCD apresenta as características adequadas para preencher a camada inferior do aterro da vala (sob pavimentos de infraestruturas de transporte, passeios e espaços verdes) e a camada superior do aterro, exceto se a vala estiver localizada sob pavimentos de infraestruturas de transporte, caso em que é necessário a categoria superior PSA1. De facto, se não fosse a dimensão máxima das partículas (D_{max}), o agregado reciclado

poderia ser aceite nas categorias CE e LA, independentemente do diâmetro nominal do tubo instalado na vala. Com base nas propriedades químicas, pode concluir-se que a utilização do RCD reciclado como material de preenchimento de valas não parece acarretar riscos de contaminação das águas subterrâneas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por: Projeto PTDC/ECI-EGC/30452/2017 - POCI-01-0145-FEDER-030452 - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e com o apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC); Financiamento Base - UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). O primeiro autor agradece à FCT a bolsa de Doutoramento com a referência SFRH/BD/147838/2019 (bolsa apoiada por financiamento POPH/PORN/FSE).

REFERÊNCIAS

- Arulrajah, A., Piratheepan, J., Disfani, M.M., e Bo, M.W. (2013). Geotechnical and geoenvironmental properties of recycled construction and demolition materials in pavement subbase applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 25, No. 8, pp. 1077-1088.
- Diário da República (2006) Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro - Aprova o regime geral da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e a Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro. Diário da República, 1.ª série - n.º 171 - 5 de Setembro de 2006.
- Diário da República (2008) Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março - Aprova o regime da gestão de resíduos de construção e demolição. Diário da República, 1.ª série - n.º 51 - 12 de Março de 2008.
- Diário da República (2009) Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto - Estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, as características técnicas e os requisitos a observar na concepção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros. Diário da República, 1.ª série - n.º 153 - 10 de Agosto de 2009.
- Diário da República (2011) Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho - Altera o regime geral da gestão de resíduos e transpõe a Directiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos. Diário da República, 1.ª série - n.º 116 - 17 de Junho de 2011.
- EN 933-4 (2008). Tests for geometrical properties of aggregates - Part 3: Determination of particle shape. Shape index, CEN.
- EN 12457-4 (2002). Characterisation of waste – Leaching – Compliance test for leaching of granular waste material and sludges – Part 4. CEN.
- European Commission (2021). A project under the Framework contract, ENV.G.4/FRA/2008/0112 Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste SR1 Final Report Task 2. DG ENV, February, 2011. http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/2011_CDW_Report.pdf, acedido em 09/2021.
- Eurostat (2021a). European Commission, Eurostat, Material flow accounts and resource productivity. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Material_flow_accounts_and_resource_productivity, acedido em 09/2021.

- Eurostat (2021b). European Comission, Eurostat, Waste statistics. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics, acedido em 09/2021.
- Freire, A.C., Neves, J.M.C., Roque, A.J., Martins, I.M. e Antunes, M.L. (2019). Feasibility study of milled and crushed reclaimed asphalt pavement for application in unbound granular layers. *Road Materials and Pavement Design*, DOI: 10.1080/14680629.2019.1701539.
- Henzinger, C. e Heyer, D. (2018). Soil improvement using recycled aggregates from demolition waste. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*, Vol. 171, No. 2. pp. 74-81.
- LNEC E 485 (2016). Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em preenchimento de valas, LNEC.
- NP 1039 (1974) Inertes para argamassas e betões. Determinação da resistência ao esmagamento, IPQ.
- NP EN 933-1 (2014). Ensaio das propriedades geométricas dos agregados; Parte 1: Análise granulométrica; Método da peneiração, Instituto Português da Qualidade.
- NP EN 933-3 (2014). Ensaio das propriedades geométricas dos agregados; Parte 3: Determinação da forma das partículas; Índice de achatamento, IPQ.
- NP EN 933-8 (2012). Ensaio das propriedades geométricas dos agregados; Parte 8: Avaliação dos finos; Ensaio do equivalente de areia, IPQ.
- NP EN 933-9 (2009). Ensaio das propriedades geométricas dos agregados; Parte 9: Avaliação dos finos; Ensaio do azul de metileno, IPQ.
- NP EN 933-11 (2011). Ensaio das propriedades geométricas dos agregados; Parte 11: Ensaio para classificação dos constituintes de agregados grossos reciclados, IPQ.
- NP EN 1097-2 (2011). Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados; Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação, IPQ.
- NP EN 1097-6 (2016). Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados; Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água, IPQ.
- NP EN 1744-1 (2009). Ensaio para determinação das propriedades químicas dos agregados; Parte 1: Análise química, IPQ.
- Rahman, M.A., Imteaz, M., Arulrajah, A. e Disfani, M.M. (2014). Suitability of recycled construction and demolition aggregates as alternative pipe backfilling materials. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 66, pp. 75-84.
- Santos, E.C.G., Palmeira, E.M. e Bathurst, R.J. (2013). Behaviour of a geogrid reinforced wall built with recycled construction and demolition waste backfill on a collapsible foundation. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 39, pp. 9-19.
- Santos, E.C.G., Palmeira, E.M. e Bathurst, R.J. (2014). Performance of two geosynthetic reinforced walls with recycled construction waste backfill and constructed on collapsible ground. *Geosynthetics International*, Vol. 21, pp. 256-269.
- União Europeia (2008). Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008 relativa aos resíduos e que revoga certas directivas. Jornal Oficial da União Europeia, UE, L 312 de 22/11/2008, pp. 3-30.
- Vieira, C.S., Cristelo, N. e Lopes, M.L. (2017). Geotechnical and geoenviromental characterization of recycled Construction and Demolition Wastes for use as backfilling of trenches. *Proceedings of 4th Edition of the International Conference Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities*. Porto, Portugal, pp. 175-181.
- Vieira, C.S. e Pereira, P.M. (2015). Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 103, pp. 192-204.
- Vieira, C.S. e Pereira, P.M. (2016). Interface shear properties of geosynthetics and construction and demolition waste from large-scale direct shear tests. *Geosynthetics International*, Vol. 23, No. 1, pp. 62-70.
- Vieira, C.S., Pereira, P.M. e Lopes, M.D.L. (2016). Recycled Construction and Demolition Wastes as filling material for geosynthetic reinforced structures. Interface properties. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 124, pp. 299-311.